

Bedienungswürdigkeit von Nahverkehrslinien im öffentlichen Personenverkehr

Grabe, Walter

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 25, 1975,
S.103-112



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Bedienungswürdigkeit von Nahverkehrslinien im öffentlichen Personenverkehr

Von Walter Grabe, Hannover

Zur Bedienung des Verkehrs, also zur Erfüllung von Wünschen nach Ortsveränderungen von Personen, werden Betriebsmittel (Fahrzeuge) unter Nutzung der erforderlichen Infrastruktur (zum Beispiel: Fahrwege und Betriebseinrichtungen) nach einem Fahrplan, der Zeit und Ort der Fahrzeugbewegungen bestimmt, eingesetzt. Der Fahrplan ist so aufgebaut, daß er die zeitlichen und örtlichen Verkehrsschwankungen weitgehend berücksichtigt und ein sinnvolles Verhältnis zwischen dem Platzangebot [Plätze] und der Nachfrage [Personen] herstellt. Der Betriebsleistung, gemessen zum Beispiel in Platzkilometern je Jahr [Pkm/Jahr], die den Aufwand A [DM/Jahr] zur Folge hat, steht die Einnahme E [DM/Jahr] gegenüber, ermittelbar aus dem Produkt der Verkehrsleistung [Personenkilometer je Jahr = abgekürzt: Pers.km/Jahr] und dem mittleren Preis je Reise [DM/Person], dividiert durch die mittlere Reiselänge L [km].

Soll der Betrieb einer Nahverkehrslinie Gewinn abwerfen, so ist die „Bedienungswürdigkeit“ einer Linie dann erreicht, wenn $E > A$ wird. Da es heute im öffentlichen Nahverkehr, der unter starker Konkurrenzierung durch das Auto steht, finanzieller Zuschüsse bedarf, von einigen seltenen Ausnahmen abgesehen, kann von einer „Bedienungswürdigkeit“ auch noch dann gesprochen werden, wenn der Aufwand etwas höher liegt als die erzielte Einnahme. Hier werden also neben den wirtschaftlichen Betrachtungen, die aber nicht ganz außer Acht gelassen werden dürfen, noch andere Gesichtspunkte Bedeutung besitzen. Die Veränderung des „modal-split“, des Verhältnisses zwischen der Verkehrsarbeit [Perskm] im individuellen Verkehr [IV] und dem öffentlichen Personennahverkehr [ÖPNV], zu Gunsten des ÖPNV, der u. a. vergleichsweise Vorteile der größeren Leistungsfähigkeit, des geringeren Flächenbedarfs beim Fahren und im Bereich des „ruhenden Verkehrs“ gegenüber dem IV besitzt, kann zum Beispiel eine andere Betrachtungsweise der Bedienungswürdigkeit als die rein finanzielle bewirken. Zur Bildung eines umfassenden Maßstabes für diesen Begriff sind deshalb neben dem Anteil des erforderlichen finanziellen Zuschusses am Gesamtaufwand im wesentlichen die Transportmengen M [Fahrgäste/Stunde oder Fahrgäste/Tag], die Bedienungsqualität (Attraktivität) und die Fahrweiten zu beachten.

Für den Verkehrsplaner ist es deshalb von besonderer Bedeutung, die „Bedienungswürdigkeit“ einer Linie des ÖPNV vor einer Inbetriebnahme zu beurteilen, da zum Beispiel eine bereits im Betrieb befindliche, stark defizitäre Linie zum Beispiel aus politischen Gründen nicht ohne weiteres wieder stillgelegt werden kann.

Es geht also darum, aus den Strukturdaten der Einzugsbereiche einer geplanten ÖPNV-Linie die voraussichtlichen zukünftigen Fahrgastmengen abzuschätzen. Es sind Fahr- und Dienstpläne aufzustellen (vgl. Abschnitt 1 und 2), die für die Ermittlung der zu erwartenden Betriebskosten benötigt werden. Unter Beachtung des Beförderungstarifsystems sind die Einnahmen abzuschätzen und dann dem ermittelten Betriebsaufwand gegenüberzustellen. Die auf diese Art theoretisch gewonnene „Bedienungswürdigkeit“ gibt dem Planer eine wertvolle Entscheidungshilfe, auch wenn es sich hier um eine, noch mit Schwächen versehene, Größe handelt.

1. Fahrplangestaltung und Dienstplan

Eine maximale Einheitenfolgezeit t_Z [min/Transporteinheit (TE)] wird möglichst im *Fahrplan* nicht überschritten, auch nicht zu Tageszeiten mit schwacher Belastung der Linie, um die mittlere Wartezeit t_{Wm} nicht zu groß werden zu lassen. Für den Fahrgast, der nicht auf Fahrplan und Uhr schaut, ist die wahrscheinliche mittlere Wartezeit

$$(1) \quad t_{Wm} = 1/2 \cdot t_Z$$

Für eine zu befahrende Strecke AB mit der Streckenlänge S [km] ist die Umlaufzeit T_u für eine Betriebseinheit (z. B. Bus, Straßenbahn, U-Bahn-Zug):

$$(2) \quad T_u = \frac{2 \cdot S}{V_R} \cdot w, \text{ wobei der Faktor } w \text{ den in gewissen Grenzen}$$

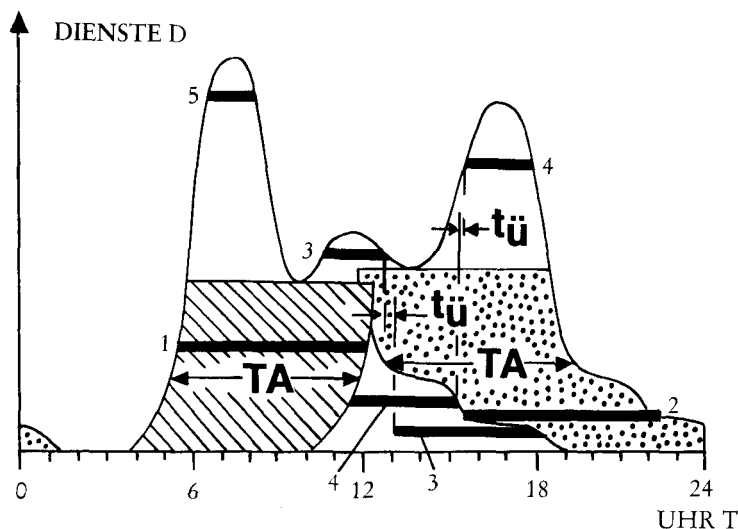
variablen Wendezeitanteil berücksichtigt. Die Anzahl der erforderlichen Transporteinheiten (TE) ist dann:

$$(3) \quad TE = \frac{T_u}{t_Z}, \text{ ganzzahlig aufgerundet.}$$

Aus (3) kann ersehen werden, daß die Anzahl der benötigten Fahrzeuge mit T_u , also mit S , der Streckenlänge, linear steigt und umgekehrt proportional ist der Einheitenfolgezeit t_Z . Dies bedeutet beispielsweise eine Verdoppelung der Fahrzeugzahl, wenn vom 10-Min.-Betrieb (alle 10 Min. erreicht eine TE eine Haltestelle) auf einen 5-Min.-Betrieb übergegangen wird. Ist nicht eine einzelne Strecke sondern ein Nahverkehrsnetz zu betrachten, dessen Betriebswürdigkeit zu prüfen ist, so ist die Netzumlaufzeit T_N [h] einzuführen. T_N ist die Zeit, die eine TE benötigen würde, um nacheinander alle Strecken des Netzes mit der Reisegeschwindigkeit V_R [km/h] abzufahren. Beträgt die Netzlänge S [km], so ist:

$$T_N = \frac{2 \cdot S}{V_R} \cdot 1,167 \text{ [h]}, \text{ wobei mit } 1/6 \text{ der Fahrzeit für die Wendezeiten}$$

an den Endstationen gerechnet wurde (Faktor 1,167). Werden n Wagen je Zug (TE) eingesetzt und werden 15 % der Wagen für die „Werkstattreserve“ angesetzt,



- 1 FRÜHDIENST, 2 SPÄTDIENST
 3, 4 GETEILTE DIENSTE
 5 KURZDIENST ($\frac{1}{2}$ -TAGS-PERSONAL)
 $t_{\bar{u}} \triangleq$ Übergangszeit, $TA \triangleq$ tägl. Arb.-Zeit

<p>DIENSTPLANWIRKUNGSGRAD η_d</p> $\eta_d = \frac{\text{Dienstpl.-Masse } [D \cdot T]}{\text{tägl. Arb.-Zeit}} \cdot \frac{100}{\text{Zahl d. tats. Dienste}} [\%]$ <p>= theor. kl. Zahl an Diensten</p>

Bild 1: „Dienstplan-Schnitt“

erhält man unter sinngemäßer Verwendung von (3) die Anzahl der zur Bedienung eines Netzes erforderlichen Wagen (W):

$$W = \frac{T_N}{t_Z} \cdot 60 \cdot 1,15 \cdot n = \frac{2 \cdot S \cdot 1,167 \cdot 60}{V_R \cdot t_Z} \cdot 1,15 \cdot n$$

$$(4) \quad W = 162 \cdot \frac{S \cdot n}{V_R \cdot t_Z} [\text{Wagen}]$$

Beispiel: Schnellbahnnetz, 6 Wagen je Zug, Netzlänge 150 km
 (Summe aller Strecken)

$t_Z = 5 \text{ min}$ (= Zugfolgezeit in der Verkehrsspitze), $V_R = 37 \text{ km/h}$

$$\underline{W = 162 \cdot \frac{150 \cdot 6}{37 \cdot 5} = 788 \text{ Wagen}}$$

Unter Verwendung von (4) läßt sich der Umfang des Rollmaterials und damit auch der zugehörige Aufwand abschätzen, der später für die Beurteilung der Bedienungswürdigkeit benötigt wird.

Das zum Einsatz der Fahrzeuge erforderliche Personal ist im *Dienstplan* enthalten. Die Anzahl der Dienste D ist im Bild 1 in Abhängigkeit von der Tageszeit T dargestellt. Die Dienstplanmasse $[D \cdot T]$ wird so „geschnitten“, daß der Dienstplanwirkungsgrad η_d möglichst groß wird. Sie besteht aus ungeteilten Früh- und Spätdiensten, aus geteilten Diensten und aus Kurzdiensten. Bei der Aufstellung der Dienstpläne sind u. a. die gültigen Vereinbarungen über die tägliche Arbeitszeit und die Dienstreihenfolge (einem Spätdienst darf zum Beispiel am nächsten Tag kein Frühdienst folgen) zwischen den Arbeitgeberverbänden und der Gewerkschaft Öffentliche Dienste, Transport und Verkehr zu beachten, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Die Folge von Tagen mit Dienst und Tagen ohne Dienst (= freie Tage) wird durch den Dienstplanturnus geregelt, der im folgenden Abschnitt kurz besprochen wird.

2. Dienstplanturnus

Im Bild 2 (oben) sind beispielsweise für sechs Personalgruppen eines Betriebs hofes über die Wochentage (MO = Montag, MI = Mittwoch, FR = Freitag, SO = Sonntag) die normalfreien Tage (F) für eine 30-Stunden-Woche in 45° geneigten Doppelreihen eingetragen. Weiße Felder des Rasters bedeuten Arbeitstage für die zugehörige Personalgruppe. Da am Samstag und besonders am Sonntag wegen des geringeren Verkehrs auch weniger Personal für die angepaßte Betriebsleistung benötigt wird, sind an diesen Tagen „zusatzfreie“ Tage (Z) vorgesehen. Die senkrecht addierten Dienst-Tage sind schwarz im Bild 2 dargestellt (von MO bis FR stehen vier Gruppen, am SA noch zwei und am SO nur noch eine Personalgruppe zur Verfügung). Bei einer Arbeitswoche von X Stunden je Woche läßt sich die tägliche Arbeitszeit t_X [h/Tag] nach Gleichung (5) ermitteln:

$$(5) \quad t_X = \frac{X \cdot T}{7(T - F) - Z} \text{ [h/Tag]},$$

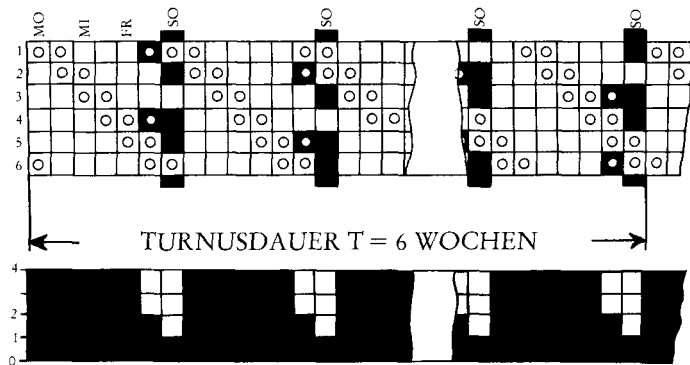
wobei T die Turnusdauer in Wochen bedeutet. Die freien Tage je Woche f werden erhalten durch:

$$(6) \quad f = \frac{7 \cdot F + Z}{T} \text{ [freie Tage/Woche]}.$$

Interessant ist vielleicht auch noch die Anzahl der Wochen W_{SO} , auf die ein freier Sonntag fällt:

$$(7) \quad W_{SO} = \frac{T}{F + Z_{SO}}.$$

Z_{SO} ist die Anzahl der „zusatzfreien Tage“ am Sonntag (im Beispiel 3). Für den Betriebsmann ist die zahlenmäßige Absenkung des diensttuenden Personals am



BEISPIEL:

 $X = 30 \text{ h/WOCHE}$, 6 GRUPPEN, $T = 6$ $F = 2$ „NORMALFREIE TAGE“ \square $Z = 5$ „ZUSATZFREIE TAGE“ \blacksquare

Sa So

TÄGLICHE ARBEITSZEIT t_x

$$t_x = \frac{X \cdot T}{7(T-F) - Z} = \frac{30 \cdot 6}{7(4) - 5} = 7,83 \text{ h/TAG}$$

FREIE TAGE JE WOCHE f

$$f = \frac{7 \cdot F + Z}{T} = \frac{7 \cdot 2 + 5}{6} = 3,17 \text{ FT/WOCHE}$$

$$W_{so} = \frac{T}{F + Z_{so}} = \frac{6}{2 + 3} = 1,2; \mu_{so} = 1 - \frac{Z_{so}}{T - F}$$

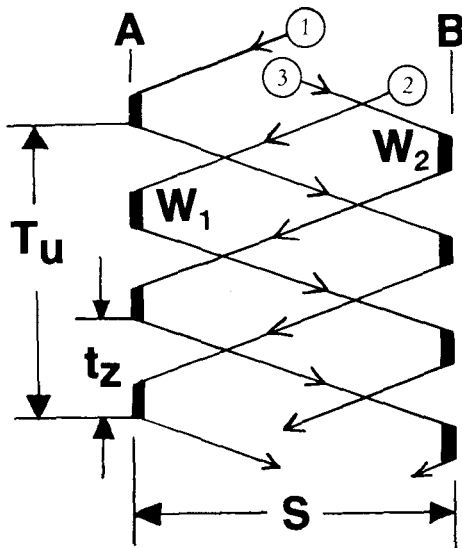
$$\mu_{so} = 1 - \frac{3}{4} = 0,25; \mu_{sa} = 1 - \frac{Z_{sa}}{T - F} = 0,5$$

Bild 2: Dienstplan-Turnus

Samstag und Sonntag von Bedeutung, da nicht unnötig Personal zum Dienst beordert werden soll (Personalkosten):

$$(8) \quad \mu_{SA} = 1 - \frac{Z_{SA}}{T - F}, \text{ analog: } \mu_{SO} = 1 - \frac{Z_{SO}}{T - F}$$

Lässt sich die Verminderung des Personals am Wochenende im Vergleich zu den Tagen MO bis FR nicht genügend gut anpassen, kann der Hauptturnus (im Bild 2 beispielhaft dargestellt) durch einen Nebenturnus überlagert werden.



$$T_u = \frac{2 \cdot S}{v_R} \cdot w = c_1 \cdot \frac{S}{V_R} \quad (1)$$

TRANSP.-EINH. TE

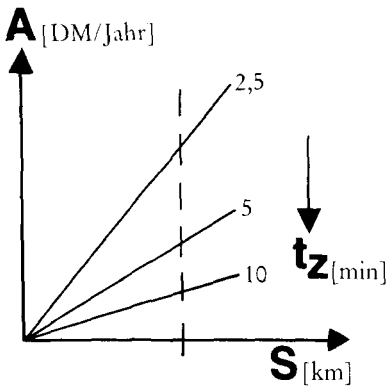
$$TE = \frac{T_u}{t_z} \quad (2)$$

AUS (1) UND (2)

$$TE = c_2 \cdot \frac{S}{V_R \cdot t_z} = c_3 \cdot \frac{S}{t_z}$$

AUFWAND A

$$A = c \cdot \frac{S}{t_z} [\text{DM/Jahr}]$$



EINNAHME E

$$E = M \cdot \sum_{i=1}^n (a_i \cdot P_i) [\text{DM/J.}]$$

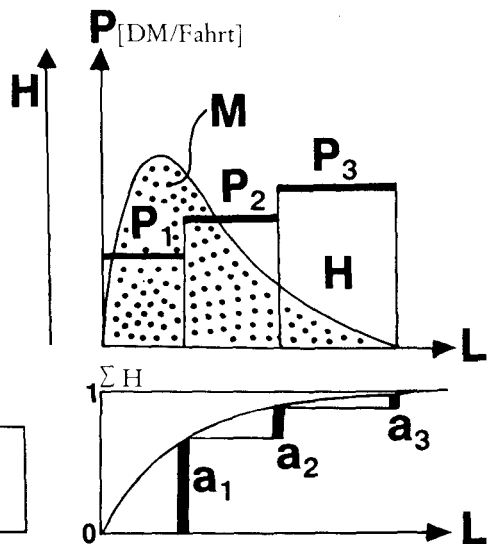


Bild 3: Aufwand und Einnahmen

3. Aufwand und Einnahmen

Der *Betriebsaufwand* A für die Bedienung einer Strecke AB oder eines ganzen Netzes der Länge S [km] wächst linear mit S und wird kleiner mit steigendem t_Z (vgl. Bild 3).

$$(9) \quad A = c \cdot \frac{S}{t_Z} \text{ [DM/Jahr]}$$

Der Faktor c hängt u. a. ab von den täglichen und örtlichen Schwankungen der Betriebsleistung, von der Art des Betriebsmittels, von der Güte der Fahr- und Dienstpläne und von den Kostendaten des Betriebes. Außer den Personalkosten, die einen hohen Anteil der Gesamtkosten stellen, sind eine Vielzahl von anderen Kosten enthalten, die hier nicht aufgeführt werden sollen.

Aus (9) oder aus Bild 3 (Mitte, links) kann der Stadtplaner ersehen, daß die Schwerpunkte der Quellen und Ziele des Verkehrs nicht zu weit auseinander liegen sollten. Bei größeren Fahrtweiten wird nämlich das Verhältnis zwischen Einnahme und Betriebskosten bei den in der Praxis angewandten Beförderungstarifsystemen ungünstiger. Wohnsiedlungen, die zu weit vor einer Stadt geplant werden, können beispielsweise vom ÖPNV aus Kostengründen nicht mehr bedient werden. Die Einnahme E [DM/Jahr] ergibt sich bei einem Einheitstarif aus dem Produkt der jährlichen Fahrten und dem Fahrpreis für eine Fahrt. Bei Leistungstarifen (z. B. Zonentarif) ergibt sich die Einnahme zu

$$(10) \quad E = M \cdot \sum_{1}^n (a \cdot P) \text{ [DM/Jahr]}$$

Hierbei bedeuten: $P_1, P_2 \dots P_n$ die Fahrpreise für die betreffende Zone, $a_1, a_2 \dots a_n$ die Fahrweitenanteile (vgl. Bild 3, unten), M die Menge der Fahrgäste je Jahr, H die Häufigkeit des Auftretens der Fahrtweite L (Reiseweitenverteilung). Der wirtschaftliche Betriebserfolg wäre also:

$$\text{Gewinn } G = E - A$$

$$(11) \quad G = M \cdot \sum_{1}^n (a \cdot P) - c \cdot \frac{S}{t_Z} \text{ [DM/Jahr]}$$

Bei der Betrachtung von (11) ist zu berücksichtigen, daß zwischen M und P Abhängigkeiten vorhanden sind, die bei Fahrpreiserhöhungen beachtet werden sollten. Der erste Teil von (11) ist also nicht beliebig zu vergrößern.

Die Fahrgastmenge M kann für zu bedienende Strecken in Anlehnung an das Gravitationsmodell abgeschätzt werden (vgl. Bild 4).

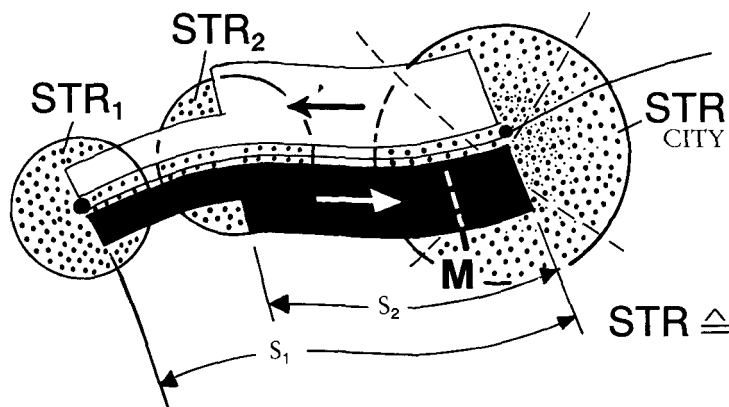
$$(12) \quad M = c_1 \cdot \frac{STR_1 \cdot STR_c}{S_1^\alpha} + c_2 \cdot \frac{STR_2 \cdot STR_c}{S_2^\beta} + \dots$$

wobei STR_1 Strukturgrößen des Einflußbereiches 1,
 STR_2 Strukturgrößen des Einflußbereiches 2,

STR_c Strukturgrößen des Citybereiches,

S_1 und S_2 Entfernungen, c_1, c_2, α, β Faktoren bedeuten.

In einem regionalen Verkehrsraum sind die Verkehrswunschlinien meist stärker auf den Stadtkern (City) gerichtet. Tangentiale Verkehrslinien sind vergleichsweise schwach belastet. Als Strukturgrößen, die bei guten Werten mit den Fahrgastmengen korrelieren, können insbesondere die Einwohnerzahlen, die Arbeitsplatzzahlen, die Schulen, Einkaufszentren und andere für die Fahrgäste des ÖPNV interessante



Struktur (Einw., Arbeitspl.)

$$M = c_1 \cdot \frac{STR_1 \cdot STR_c}{S_1^\alpha} + c_2 \cdot \frac{STR_2 \cdot STR_c}{S_2^\beta} + \dots$$

Allgemein:

$$M = c \cdot \frac{STR_n \cdot STR_m}{S^\alpha} [\text{Fahrg./J.}]$$

AUFWAND $A = c \cdot \frac{S}{t_z} [\text{DM/Jahr}]$

EINNAHMEN $E = M \cdot P_m$

$$E = c \cdot \frac{STR_n \cdot STR_m}{S^\alpha} \cdot P_m [\text{DM/Jahr}]$$

BEDIENUNGSWÜRDIGKEIT $\varphi = \frac{E}{A}$

$$\varphi = c \cdot \frac{STR_n \cdot STR_m \cdot P_m \cdot t_z}{S^\alpha \cdot S} \cdot 100 [\%]$$

FÜR $\alpha = 2$ wird

$$\varphi = c \cdot \frac{STR_n \cdot STR_m \cdot t_z}{S^3} [\%]$$

Bild 4: Bedienungswürdigkeit φ

Ziele und Quellen genannt werden. (Es wird hier auf die angegebene Literatur verwiesen.)

4. Bedienungswürdigkeit

Neben einer Reihe von zum Beispiel städtebaulichen, verkehrlichen, betrieblichen, umweltplanerischen und politischen Faktoren, die zweifellos zu beachten sind, sich aber formelmäßig schwer erfassen lassen, sind im wesentlichen doch wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der quantitativen Beschreibung der Bedienungswürdigkeit vereinfacht definiert werden zu:

$$(13) \quad \varphi = \frac{E}{A} \cdot 100 [\%]$$

Eine Bedienungswürdigkeit von 80 % für eine Nahverkehrslinie würde beispielsweise bedeuten, daß nur 80 % des Aufwandes durch Einnahmen auf dieser Linie gedeckt sind, der Rest also in Form eines Zuschusses herbeigeschafft werden müßte. Bei sinngemäßer Anwendung von (13), (10), (9) und (12), vergleiche hierzu auch Bild 4, erhält man:

$$(14) \quad \varphi = c \cdot \frac{STR_n \cdot STR_m \cdot t_Z}{S_\alpha \cdot S} \cdot 100 [\%]$$

für $\alpha = 2$ ergibt sich:

$$(15) \quad \varphi = c \cdot \frac{STR_n \cdot STR_m \cdot t_Z}{S^3} [\%]$$

Die Bedienungswürdigkeit wird höher mit dem Produkt der Strukturgrößen (zum Beispiel: Einwohner, Arbeitsplätze, Schulplätze ...) der beteiligten Einzugsbereiche der Haltestellen des ÖPNV-Mittel und reagiert empfindlich auf die Entfernung der Schwerpunkte der Einzugsgebiete.

Bei der Beurteilung von (15) ist zu beachten, daß zwischen den Strukturdaten, die das Fahrgastaufkommen beeinflussen und der Bedienungshäufigkeit $\frac{60}{t_Z}$ [TE/h] in Bereichen stärkerer Fahrgastmengen Abhängigkeiten bestehen, die bei schwachen Belastungen wegen des erforderlichen Einhaltens eines Mindestaktes der Bedienung nicht mehr vorhanden sind.

Mit der in diesem Beitrag dargestellten Möglichkeit, für die Bedienungswürdigkeit von Nahverkehrslinien im öffentlichen Personenverkehr eine praktikable Maßzahl zu finden, ist sicher zunächst ein stark vereinfachter und deshalb kritisch zu betrachtender Weg beschritten worden, der Verbesserungen bedarf, die auf weiteren Untersuchungen aufzubauen haben.

Literaturhinweise

Kessel, Peter: Verhaltensweisen im werktäglichen Personenverkehr. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 1972, Heft 132.

Lehner, Fritz: Menge, Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad im Verkehr. Verkehr und Technik 1949, Heft 8, S. 155 ff.

Meyer, Lienhard: Abschätzung des Verkehrsaufkommens im öffentlichen Personennahverkehr in Wohngebieten. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 1971, Heft 120.

Mross, Max: Die Linienleistungs- und -erfolgsrechnung. Albis-Verlag GmbH, Hamburg-Stellingen, 1951.